

bobine un cylindre de cuivre mince. Comme nous l'avons dit, les variations du champ magnétique font naître dans ce cylindre des courants induits : la bobine induite se trouve alors soumise à l'action du courant inducteur et de l'aimantation du fer doux, et à l'action, toujours inverse (962), des courants induits du cylindre; l'action qu'elle subira ne sera donc que la différence des deux effets, différence d'autant plus grande que les courants induits du cylindre auront moins d'importance. Or on peut faire varier ceux-ci en éloignant plus ou moins le cylindre de la bobine inductrice; son action sera la plus énergique lorsqu'il sera placé précisément au même niveau que la bobine inductrice et alors le courant induit sera minimum. Mais à mesure qu'on déplacera ce cylindre en le tirant hors de la bobine, son action sera moindre; le courant induit augmentera d'intensité.

971. — C'est cette disposition qui est généralement adoptée dans les bobines d'induction destinées aux applications médicales.

Ces bobines dont on réduit les dimensions autant que possible afin de les rendre aisément transportables sont placées dans des boîtes qui contiennent, outre les électrodes T (fig. 478) destinées à l'application des

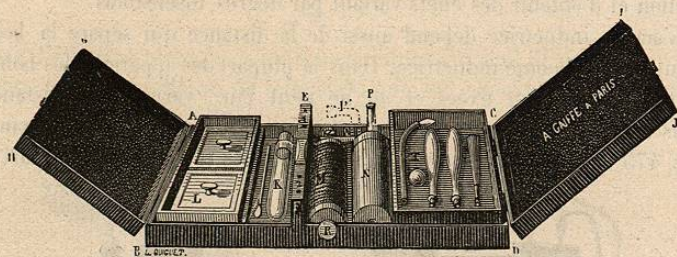


Fig. 478.

courants aux points où ils doivent agir, la pile L destinée à mettre la bobine en action. Cette pile est tantôt une pile au sulfate de mercure que l'on monte au moment de s'en servir, tantôt une pile à chlorure d'argent ou une pile à retournement de Trouvé; dans tous les cas, en mettant la pile à la place qu'elle doit occuper, on établit spontanément les contacts assurant le passage du courant. Il y a en outre un régulateur R, cylindre de cuivre dont nous avons expliqué le fonctionnement et un interrupteur à trembleur P dont on peut faire varier la rapidité du mouvement entre certaines limites. Enfin, en général, on peut mettre les électrodes en communication soit avec la bobine induite et utiliser ainsi le courant induit, soit avec la bobine inductrice et se servir seulement des courants interrompus et des extra-courants qui traversent cette bobine.

Il existe divers modèles de bobines de ce genre, mais elles ne diffèrent

que par des détails de peu d'importance sur lesquels il est inutile de s'arrêter.

972. — Les machines médicales d'induction magnéto-faradiques (champ magnétique produit par un aimant), ou volta-faradiques (champ magnétique variable produit par un courant), présentent les unes et les autres des avantages et des inconvénients : pour les premières, il est nécessaire d'avoir recours à un aide pour entretenir le mouvement des pièces mobiles; dans les secondes, il faut monter la pile ou vérifier de temps à autre qu'elle fonctionne bien s'il s'agit d'une pile à renversement ou d'une pile à chlorure d'argent; de plus, dans celles-ci, les contacts se détériorent assez facilement et la formation de couches minces de sels ou d'oxydes suffit pour empêcher complètement le fonctionnement. Enfin, dans les machines magnéto-faradiques, on peut faire varier la fréquence des interruptions dans des proportions beaucoup plus étendues que dans les bobines volta-faradiques.

Toutefois il faut reconnaître que la nécessité d'entretenir le mouvement est un inconvénient réel des machines magnéto-faradiques qui, de plus, ont en général de plus grandes dimensions, ce qui rend leur transport moins facile.

973. **Distribution industrielle de l'électricité.** — La production des courants induits est devenue dans ces dernières années une opération industrielle; sans parler des applications spéciales à une industrie déterminée, elle est la base de la distribution de l'électricité qui commence à se généraliser. Dans une usine, station centrale d'électricité, on développe des courants induits, à l'aide de machines d'induction mues par des moteurs hydrauliques ou par des moteurs à vapeur : les courants produits circulent dans des conducteurs en cuivre placés aériennement, sur des poteaux dont les séparent des isolateurs en porcelaine, ou souterrainement dans des tranchées où les conducteurs sont également isolés. Des dérivations peuvent être établies sur ces conducteurs principaux et amener le courant dans les usines ou les maisons placées dans le voisinage, où ce courant peut être utilisé à divers usages : tantôt il peut servir à la production de la lumière électrique; tantôt, il peut produire l'électrolyse ou des actions chimiques industrielles; tantôt il peut être employé à la soudure des métaux; tantôt même, comme nous allons le dire, il peut être pris comme source motrice. Ajoutons que, dans quelques installations, en petit nombre jusqu'à présent, il faut le reconnaître, ce courant est utilisé à actionner des appareils médicaux ou chirurgicaux.

Les machines productrices des courants d'induction sont très variables de forme : aucune ne repose sur l'emploi des bobines, le courant inducteur produit par des piles étant d'un prix trop élevé. Parmi les modèles adoptés, dans les uns, le champ magnétique est produit par des aimants; dans les autres, par des électro-aimants. Dans ce dernier cas, il peut

arriver que le courant nécessaire à mettre en jeu les électro-aimants provienne d'une autre machine, machine excitatrice; mais maintenant, le plus souvent, ce courant est emprunté au circuit même dans lequel se manifeste le courant principal : les machines de ce genre, que nous ne pouvons étudier, même sommairement, ont reçu le nom de machines dynamo-électriques.

974. — Il y a intérêt au point de vue des dimensions du conducteur à employer, pour un débit donné d'énergie électrique, un courant de forte intensité, et par suite correspondant à une grande différence de potentiel. Ces courants ne sont pas sans inconvénient, surtout s'ils sont alternatifs, et des accidents graves, la mort même, peuvent résulter pour un individu qui se trouve mis accidentellement en contact avec les conducteurs; quoiqu'il soit difficile de préciser un nombre, il paraît certain que, avec des courants alternatifs, une différence de potentiel de 300 volts présente un danger réel. Aussi convient-il de mettre les conducteurs absolument hors de portée.

D'autre part, les divers usages auxquels les courants peuvent être employés ne comportent pas toujours une grande différence de potentiel : il y a donc avantage, et même nécessité dans certains cas, à pouvoir substituer un courant à basse tension (à faible différence de potentiel), à un courant à haute tension (grande différence de potentiel), de même que quelquefois la transformation inverse est utile. Actuellement, on arrive aisément à ce résultat dans le cas des courants alternatifs par l'emploi de *transformateurs*. Un transformateur est, à proprement parler, une bobine d'induction de forme variable : le courant inducteur alternatif passe dans le fil primaire et donne naissance à des courants induits dans le fil secondaire; suivant les diamètres et les longueurs des fils primaire et secondaire, on obtient telle transformation de FEM que l'on veut. Naturellement, il y a variation inverse de la quantité d'électricité mise en jeu, car en somme, on retrouve, sauf les pertes de nature diverse qui accompagnent toute transformation, la même quantité d'énergie dans le circuit primaire et dans le circuit secondaire. Mais, à égalité d'énergie, il y a intérêt à disposer à volonté de chacun des facteurs comme nous l'avons dit déjà (952).

Lorsqu'il s'agit d'une importante station centrale, il est nécessaire d'avoir une machine de rechange pour remplacer immédiatement une machine qui serait mise hors d'état de fonctionner par une cause quelconque. Dans des installations de moindre importance, il suffit d'adjoindre à la machine d'induction une batterie d'accumulateurs (951); on charge celle-ci avec la machine lorsque la dépense est moindre que la quantité que peut fournir cette machine. Dans le cas contraire, la batterie ajoute son effet à celui de la machine, et peut même la suppléer entièrement pendant un certain temps.

975. — Les machines d'induction qui fonctionnent par suite du déplacement relatif des induits et du champ magnétique sont réversibles : nous avons vu qu'elles donnent naissance à des courants quand on entretient leur mouvement par une dépense de travail mécanique; inversement lorsqu'on fait traverser le fil de l'induit par un courant, il y a production d'un mouvement, production d'un travail mécanique.

Nous avons indiqué le principe que nous signalons (923); ce principe a été mis en application dans de très nombreux modèles de machines. La question est devenue absolument industrielle et a reçu des applications très variées : il y a là un côté important de la question sur lequel nous n'avons pas à insister. Mais des moteurs électriques basés sur ces principes sont maintenant fréquemment employés dans les laboratoires et, à cause de cela, il était nécessaire de signaler leur existence : la machine Gramme que nous avons décrite (964) peut servir dans ce but; mais on emploie également d'autres systèmes, comme le moteur Deprez, par exemple.

976. **Téléphone. Microphone.** — Parmi les applications les plus intéressantes des courants d'induction, il faut citer le téléphone dont l'invention est due à Graham Bell (1876) et dont les applications se sont rapidement multipliées.

Le téléphone (fig. 479) consiste essentiellement en un barreau aimanté qui était rectiligne dans sa forme primitive et auquel on donne plus souvent maintenant une forme annulaire. Autour de l'un des pôles se trouve enroulé un fil de cuivre isolé constituant une bobine; ce système peut être entouré d'un manche en bois; devant le pôle de l'aimant se trouve une lame circulaire de fer mince, fixée en quelques points de sa circonférence, et près de

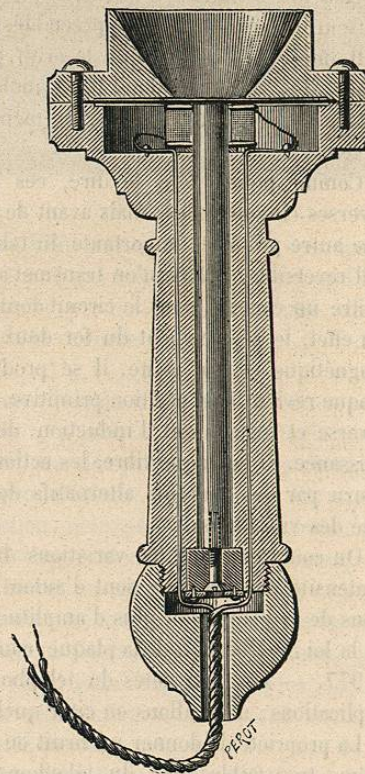


Fig. 479.

la face opposée de laquelle se trouve l'extrémité d'un cornet conique. Imaginons que par un procédé quelconque on fasse passer dans le fil du téléphone un courant interrompu périodiquement : chaque fois que le courant est établi, il y a variation du champ magnétique de l'aimant, aug-

mentation par exemple. La plaque de fer doux est donc attirée par l'aimant plus qu'elle ne l'était, elle fléchira; mais cette plaque reprend sa position primitive lorsque, le courant cessant de passer, le champ magnétique revient à sa valeur première. Chacune de ces variations est accompagnée d'un bruit léger qu'on peut entendre à distance, mais qu'on perçoit plus nettement lorsqu'on place l'oreille devant le cornet. Si les variations se répètent très rapidement, la plaque entrera en vibration, fera vibrer l'air et l'observateur entendra un son dont les divers caractères seront liés à la nature des vibrations communiquées à la plaque.

Les mouvements de la plaque étant dus à une variation du champ magnétique, il n'est pas nécessaire qu'il y ait des cessations et des reprises de courant, et la même action se manifeste également sous l'influence des variations d'intensité. Des variations même très faibles produisent des résultats très appréciables.

Il importe d'ajouter que le bruit produit peut reconnaître une autre cause, des variations dans l'état moléculaire du barreau, car des effets analogues peuvent être observés même après la suppression de la lame de fer.

Comme nous allons le dire, ces propriétés ont été utilisées dans diverses circonstances; mais avant de les indiquer, nous devons signaler une autre propriété importante du téléphone : le téléphone est un appareil réversible, et lorsqu'on transmet à la plaque un déplacement, on fait naître un courant dans le circuit dont fait partie la bobine du téléphone. En effet, le déplacement du fer doux devant l'aimant modifie le champ magnétique et, par suite, il se produit un courant d'induction. Si la plaque revient à sa position primitive, le champ magnétique varie en sens inverse et un courant d'induction, de sens contraire au premier, prend naissance. Si la plaque vibre, les actions se succèdent et le circuit est parcouru par des courants alternatifs dont la fréquence dépend de la rapidité des vibrations.

On comprend que les variations du champ magnétique et, par suite, l'intensité des courants sont d'autant plus considérables que les vibrations de la plaque ont plus d'amplitude. Enfin la loi du courant dépend de la loi de vibration de la plaque, comme on peut le concevoir aisément.

977. — Les propriétés du téléphone ont été utilisées dans diverses applications; nous allons en citer quelques-unes.

La propriété de donner un bruit ou un son sous l'influence de courants même très faibles, fait du téléphone un galvanoscope très sensible. Il suffit de mettre dans le circuit où on soupçonne l'existence d'un courant, un téléphone et un interrupteur mécanique quelconque : le téléphone mis à l'oreille fait entendre un son ou un bruit s'il existe un courant, quelque faible qu'il soit. Ainsi employé, le téléphone est bien plus sensible, non seulement que les galvanomètres que nous décrivons plus

loin, mais même que la patte de grenouille galvanoscopique. Ajoutons que le téléphone fonctionne également bien dans le cas de courants alternatifs; dans ce cas même, il n'est pas besoin d'interrupteur mécanique, surtout si les alternances se succèdent rapidement.

C'est également sur les propriétés précédemment indiquées du téléphone que repose la balance électrique inventée par Hughes. Cette disposition comprend un circuit dans lequel est une pile P (fig. 480), un interrupteur mécanique I

et deux bobines A et B; un second circuit contient un téléphone T et deux bobines *a* et *b* placées au-dessus de A et B dont on peut les rapprocher plus ou moins¹. L'enroulement des fils dans les bobines est tel que les variations du courant dans les bobines A et B font naître dans les

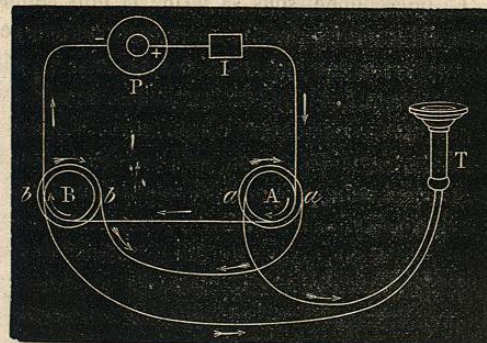


Fig. 480.

bobines *a* et *b*, en même temps, des FEM contraires; si elles sont égales aucun courant ne passe dans le téléphone qui reste silencieux; si ces FEM sont inégales, le téléphone est parcouru par des courants induits, dus à leur différence, et sous l'influence de ces courants interrompus il produit un bruit ou un son.

En faisant varier les distances respectives de A à *a* et de B à *b*, on peut toujours arriver à réduire le téléphone au silence; mais alors, toute cause qui modifiera l'action inductrice pour une des paires de bobines changera l'une des FEM et un bruit sera produit dans le téléphone. Parmi les causes qui peuvent modifier l'induction, nous pouvons citer le voisinage d'une masse métallique qu'il suffira d'approcher d'une des bobines pour que le téléphone, précédemment réduit au silence, cesse d'être silencieux. C'est dans le but de reconnaître si une balle était restée ou non dans les tissus (assassinat du président Garfield, aux États-Unis) que Hughes a imaginé cet appareil qui a été utilisé depuis dans des circonstances différentes, notamment pour reconnaître si deux masses métalliques sont identiques ou non. Dans le premier cas, si on les place de la même façon par rapport aux bobines A et B, les effets qu'elles produisent sont égaux et le téléphone reste silencieux; mais la plus petite iné-

1. Sur la figure les bobines *a* et *b* sont indiquées comme extérieures à A et B, ce qui ne change rien à l'effet. Il existe d'ailleurs dans cette figure un erreur sur les communications des fils allant au téléphone, qui devraient être reliés aux cercles *a* et *b* et non à A et B.

galité de poids ou de composition modifie inégalement les effets d'induction dans les deux bobines, et un son est perçu au téléphone.

978. — L'invention du téléphone a été complétée par celle du *microphone* qui constitue un moyen de mettre en action un téléphone sous l'influence de mouvements, même excessivement limités : l'emploi du microphone est basé sur le fait qu'un téléphone produit un son ou un bruit sous l'influence des variations d'intensité d'un courant qui le traverse.

Le microphone, sous sa forme la plus simple, comprend un cylindre de charbon C (fig. 481) terminé en pointe à ses extrémités;

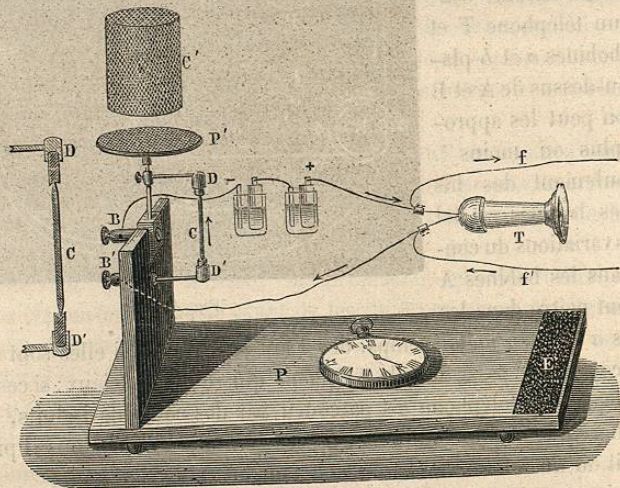


Fig. 481.

est maintenu entre deux morceaux de charbon présentant des cavités dans lesquelles entrent les pointes. Les charbons D et D' sont portés par des pièces métalliques par lesquelles ils sont placés dans un circuit contenant une pile et un téléphone T : ces pièces métalliques sont fixées à une planchette en bois maintenue verticalement par une autre planche P qui sert de base à l'appareil.

Tant que tout reste immobile, le courant passe dans le circuit sans variation d'intensité, le téléphone reste silencieux; mais la moindre secousse donnée au système modifie les contacts des charbons et change la résistance, ce qui entraîne une variation d'intensité du courant, variation qui se traduit par un bruit produit dans le téléphone : l'intensité du bruit dépend de la grandeur des variations d'intensité du courant, de telle sorte que pour une même secousse le bruit est d'autant plus fort que le courant est plus intense.

Dans quelques cas, la secousse peut être communiquée au microphone plus directement, à l'aide d'un plateau P' porté sur une tige à laquelle

est fixé le microphone; dans certaines expériences où on voulait mettre en évidence le bruit produit par la marche des insectes, le plateau était recouvert d'une cloche en toile métallique C'.

Une disposition avantageuse consiste à employer l'audition binauriculaire : à cet effet, les fils aboutissant au téléphone T se bifurquent en f, f' et se rendent à un second téléphone. Cette disposition est encore utile en ce qu'elle permet à deux personnes de faire l'observation simultanément.

979. — Le microphone a été appliqué dans un grand nombre de circonstances et a subi des changements variés tant dans la forme des charbons que dans leur position relative; mais le principe est resté le même.

On a appliqué le microphone à la construction d'une sonde destinée à reconnaître l'existence d'un calcul ou d'un corps dur dans la vessie. La sonde microphonique de Chardin est une sonde métallique dont l'extrémité est constituée par un cylindre creux servant de poignée; dans ce cylindre se trouvent placés des charbons constituant un microphone qui est dans un circuit métallique avec une pile et un téléphone.

On introduit la sonde dans la vessie : tant que son bec ne rencontre que des parties molles, aucun choc n'est transmis à la poignée; mais s'il vient à toucher un calcul ou un corps dur, une secousse est communiquée aux charbons du microphone et un bruit est perçu par l'opérateur ayant le téléphone à l'oreille. Cet appareil est fort sensible et peut rendre des services.

Le microphone a été appliqué, par Boudet de Paris notamment, à la construction de divers appareils destinés à étudier les bruits qui se produisent dans l'organisme; c'est ainsi qu'on a construit un stéthoscope pour l'étude des bruits du cœur ou de la poitrine, un sphygmophone pour l'étude de la circulation dans les vaisseaux, etc.

Ces appareils n'ont pas donné tous les résultats qu'on peut en attendre : outre la nécessité d'y joindre toujours une pile et un téléphone, ce qui est un inconvénient dans la pratique, il faut reconnaître qu'il est difficile de se rendre compte de l'importance et de la signification des bruits qu'on entend : le microphone est un amplificateur des bruits et des sons, et permet, par suite, d'entendre des bruits dont on n'a pas conscience normalement. Aussi est-il difficile de reconnaître, dans une observation faite par l'intermédiaire d'un microphone, les caractères et les éléments des bruits normaux ou anormaux de l'organisme, tels qu'on a l'habitude de les entendre. Il y aurait là sans doute une étude complète et nouvelle à faire, une éducation particulière du sens de l'ouïe; mais cette étude n'a pas été faite et les appareils microphoniques sont tombés actuellement dans un discrédit qu'ils ne méritent pas. Il est possible qu'ils n'entrent jamais comme instruments courants de diagnostic, à cause de la complication qu'ils entraînent; mais ils pourront certainement rendre de réels services dans les recherches de physiologie.

980. — Le téléphone et le microphone sont surtout utilisés pour transmettre la parole à distance : on peut obtenir ce résultat par l'emploi de deux téléphones seulement réunis par des fils conducteurs. Lorsqu'on parle devant l'un d'eux, les vibrations de l'air sont communiquées à la plaque de fer, qui en vibrant produit un changement dans le champ magnétique de l'aimant : des courants d'induction de même période que les vibrations de l'air s'établissent donc dans le circuit et vont traverser la bobine de l'autre téléphone où, par leurs alternances, ils amènent la production d'un mouvement vibratoire de la plaque, mouvement vibratoire synchrone à celui de la plaque de l'autre téléphone produisant, par suite, un son de même hauteur.

En parlant devant l'un des téléphones, produisant des sons de hauteur variée, on fait naître dans l'autre téléphone des sons de même hauteur; mais, le timbre est modifié, d'une manière générale, et le son est faible, d'autant moins intense que la distance qui sépare les téléphones est plus grande, car la FEM reste la même mais la résistance augmente, et les courants diminuent d'intensité.

Pour éviter ces inconvénients, la transmission de la parole se fait maintenant par la combinaison du microphone et du téléphone. Le circuit comprend ces deux appareils, ainsi qu'une pile dont la FEM est réglée d'après la résistance du circuit, de manière à donner un courant d'une intensité suffisante, quelle que soit la distance : le microphone est placé à l'une des stations et le téléphone à l'autre. On parle devant une planchette en bois léger qui recouvre les charbons du microphone qui sont déplacées périodiquement par les vibrations de la plaque; le courant subit des variations synchrones et, à l'autre station, ce courant variable fait naître un son qui, si les dispositions ont été convenablement prises, reproduit, à l'intensité près, le son primitif.

On sait quel développement ont pris actuellement les communications téléphoniques, et il est inutile d'insister sur l'intérêt de la question au point de vue pratique. Nous nous bornerons à dire que, dans la réalité, les appareils téléphoniques ne présentent pas le caractère de simplicité que nous avons indiqué et qui suffit pour faire comprendre le principe et le mode de fonctionnement : des dispositions spéciales et variées doivent être prises pour répondre aux besoins et aux difficultés qui résultent, par exemple de la grande distance, puisque, en service courant en France, les communications ont lieu à plus de 800 kilom., et qui résultent aussi des effets particuliers produits dans les câbles sous-marins pour les communications d'outre-mer.

CHAPITRE VII

ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE DES EFFETS DE L'ÉLECTRICITÉ

981. — Dans les chapitres précédents nous avons étudié avec quelques détails certains effets produits par l'électricité; ce sont ceux qui sont les mieux connus aujourd'hui et les plus intéressants au point de vue des applications, mais ce ne sont pas les seuls. Il en est quelques autres dont la découverte est récente et dont toutes les conditions ne sont pas absolument déterminées : comme on ne peut savoir s'ils ne doivent pas, plus ou moins prochainement, acquérir une réelle importance, nous croyons devoir les indiquer d'une manière sommaire. Comme il s'agit de phénomènes d'ordres divers, ce chapitre manquera nécessairement d'homogénéité.

982. **Phénomènes actino-électriques.** — Nous avons dit que l'air humide n'est pas un isolant parfait; comme l'atmosphère ambiante n'est jamais absolument dépourvue d'humidité, il en résulte qu'un corps chargé d'électricité et porté par un pied isolant perd peu à peu sa charge et revient à l'état neutre. On met facilement le fait en évidence en chargeant un électroscope à feuilles d'or et en l'abandonnant à lui-même : on voit peu à peu les feuilles retomber et arriver à la verticale après un temps plus ou moins long. Mais si, sur le bouton de l'électroscope ou sur un plateau qui lui est relié métalliquement, on fait tomber un faisceau de lumière émané d'un arc voltaïque, on reconnaît que la déperdition est beaucoup plus rapide. L'analyse du phénomène montre que ce sont les radiations violettes et ultra-violettes qui sont principalement efficaces.

On peut rapprocher de ce phénomène le fait suivant qui montre également l'influence des radiations sur l'électricité :

Une bobine de Ruhmkorff étant reliée à un excitateur, on écarte les deux branches de celui-ci jusqu'à ce que l'étincelle cesse de se produire. Si alors on éclaire l'excitateur avec un faisceau riche en radiations ultra-violettes, les étincelles éclatent de nouveau.

Signalons encore le fait suivant : si l'on éclaire par des radiations ultra-violettes un conducteur relié à un électromètre, on constate que celui-ci présente une charge positive, dont le potentiel peut atteindre 7 à 8 volts, ce qui exige que l'air en contact se charge négativement.

Il n'existe jusqu'à présent aucune explication satisfaisante de ces faits.

983. **Phénomènes électro-capillaires.** — Lorsqu'une masse de mercure est prise comme électrode, pour la décomposition de l'eau acidulée, par exemple, la polarisation qui s'y produit modifie la tension superficielle au contact du mercure et de l'eau. On peut mettre le fait en évidence de la façon suivante, indiquée par M. Lippmann.